

マルチライン観測のための周波数選択マルチプレクサを搭載したミリ波分光計の開発

水野亮¹, 原谷浩平¹, 岩田裕之¹, 中島拓¹, 長浜智生¹, 浅山信一郎², 小嶋崇文³, 鈴木和司¹

¹名古屋大学宇宙地球環境研究所

²国立天文台チリ観測所

³国立天文台先端技術センター

Development of a millimeter-wave spectrometer system equipped with a new frequency multiplexer for multi-line observation

Akira Mzuno¹, Kohei Haratani¹, Hiroyuki Iwata¹, Taku Nakajima¹, Tomoo Nagahama¹, Shin'ichiro Asayama², Takafumi Kojima³, and Kazuji Suzuki¹

¹*Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University*

²*Chile Observatory, National Astronomical Observatory of Japan*

³*Advanced Technology Center, National Astronomical Observatory of Japan*

Ground-based millimeter-wave spectroscopy provides an information of vertical distribution of minor constituents in the middle atmosphere both in day and night. We are observing nitric oxide (NO) and ozone (O₃) in 250 GHz band at Syowa Station in Antarctica to study the influence of energetic particle precipitations on the polar atmosphere, and also we are monitoring ozone in 110 GHz band is conducted at Rikubetsu in Japan and Rio Gallegos at the southern end of Argentina to study the long-term trend of ozone and temporal variation of the vertical structure in the boundary region of ozone hole. Compared with the limb sounding measurements by satellites, the observed spectral intensities are smaller in the looking-up measurements from the ground due to shorter observing path and attenuation by the lower atmosphere. Thus, higher sensitivity of the receiver is necessary for the ground-based millimeter-wave measurements, and we used very low noise superconducting (SIS) mixer receiver in our system. Another limitation for the ground-based measurements is observable frequency range. Because of the absorption due to the lower atmosphere, the practical upper limit of the frequency range is up to ~250 GHz. This limitation reduces the freedom of selection of observing frequency windows and it makes difficult to observe multiple spectral lines simultaneously. To overcome this situation, we are developing wide frequency band superconducting mixer and new frequency selective multiplexer. The multiplexer is a novel waveguide component cascade connected image-band rejection filters, and a prototype of the multiplexer having three output ports was developed for radio astronomy (Kojima et al. *IEEE Trans. TST.*, 2017). The image-band rejection filter consists of two 90-deg hybrid dividers and band-pass filter (Asayama et al. *JIMTW*, 2015), and the 90-deg hybrid suppresses the standing wave and noise from the local oscillator that cause bad effects on the spectral data. Now, we have completed the filter design for new multiplexer by using HFSS (High Frequency Electromagnetic Field Simulator) to provide 4 output frequency ports between 170 – 260 GHz. The frequency bands of the ports are assigned to observe NO, O₃, carbon monoxide (CO) and water vapor simultaneously. We plan to evaluate the performance of the prototype of new multiplexer by using a network analyzer in NIES in October.

In the presentation, we will explain more details of the operation principle of the multiplexer, present status of the development the system including wideband optical system in front of the receiver, and the scientific targets of the new system.

地上からのミリ波分光では、昼夜を通して中層大気中の微量成分の鉛直分布を導出することができる。我々は、昭和基地において高エネルギー粒子の降り込みが極域の大気組成にどのような影響を与えるかを調べるため、250GHz 帯の一酸化窒素(NO)とオゾン(O₃)の観測を行い、北海道の陸別とアルゼンチンのリオガジェゴスでオゾンの長期トレンドやオゾンホール境界領域の鉛直構造を調べるための観測を行っている。衛星からのリム観測と比較すると、地上観測では観測する光路長が短いため十分な強度を稼ぐことができない。そこで、地上観測ではより高い感度の受信機が必要となり、我々は超低雑音の超伝導 (SIS) ミキサ受信機を観測に用いている。また下層大気の吸収のために観測可能な周波数は 250GHz 程度が実効的な上限となる。そのため、衛星観測に比べて観測周波数帯の選択の自由度が下がり、限られた分光計の帯域幅の中で複数のスペクトルの同時観測を実現するのは容易では無い。そこで、我々は超伝導ミキサの広帯域化と新たな周波数選択用マルチプレクサの開発を進めている。このマルチプレクサはイメージ帯除去フィルタをカスケードに接続した新たな導波管型コンポーネントで、3出

力ポートの試作機が電波天文向けに開発されている(Kojima et al. *IEEE Trans. TST.*, 2017)。イメージ帯除去フィルタ部は2つの 90 度ハイブリッド分波器とバンドパスフィルタから成り(Asayama et al., *JIMTW*, 2015)、90 度ハイブリッドが観測データに悪影響を与える定在波と局部発振器(LO)からのノイズを抑制する働きをしている。現在、我々は高周波電磁界シミュレータ(HFSS)を使用して 170GHz から 260GHz の間の4つの周波数帯を取り出すフィルタの設計が完了し、試作機を製作している。4つの周波数帯はそれぞれ、NO, O₃, CO, 水蒸気の周波数帯に合わせてあり、これらの4つのスペクトルの同時観測が可能となる。10 月には情報通信研究機構のネットワークアナライザを用いて試作機の性能評価を行う予定である。

発表では、周波数マルチプレクサの動作原理、光学系の広帯域化も含めた現時点でのシステム開発の進捗状況、そしてこのシステムを用いたサイエンスの狙いなどについて詳しく報告する予定である。

References

Asayama, S., Hasegawa, Y., Mizuno, A., Ogawa, H., Onishi, T., A Novel Compact Low Loss Waveguide Image Rejection Filter Based on a Backward Coupler with Band Pass Filters for 100 GHz Band, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 36, 445-454, 2015.

Kojima, T., Gonzalez, A., Asayama, S., Uzawa, Y., Design and Development of a Hybrid-Coupled Waveguide Multiplexer for a Multiband Receiver, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 7, 10 -19, 2017.